

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

50

(11)Publication number : 11-352398

(43)Date of publication of application : 24.12.1999

(51)Int.Cl.

G02B 13/22

G02B 5/02

(21)Application number : 10-178087

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 10.06.1998

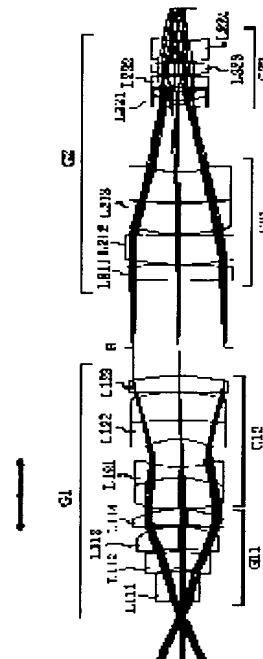
(72)Inventor : HAYASHI KIYOSHI

(54) BOTH-SIDE TELECENTRIC OPTICAL SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a both-side telecentric optical system including a lens group capable of moving in the optical axis direction for the purpose of focusing, having a high resolution and large numerical aperture and suited to observe and measure a precise shape.

SOLUTION: A 1st lens group G1 is constituted of a 1st part lens group G11 and a 2nd part lens group G12 having positive refractive power and a 2nd lens group G2 is constituted of a 3rd part lens group G21 and a 4th part lens group G22 having the positive refractive power. The 1st part lens group G11 includes a positive lens Lp having a curvature stronger on the image-side surface and a negative lens Ln having a curvature stronger on the object-side surface, and the 2nd part lens group G12 includes at least a pair of concave surfaces opposed to each other through a distance. Then, the surface of the 3rd part lens group G21 nearest to the image side, which is the concave surface, faces to an image side, and the surface of the 4th part lens group G22 nearest to the object side, which is the concave surface, faces to the object side.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-352398

(43)公開日 平成11年(1999)12月24日

(51)Int.Cl.⁶

G 0 2 B 13/22
5/02

識別記号

F I

G 0 2 B 13/22
5/02

E

審査請求 未請求 請求項の数5 F D (全 19 頁)

(21)出願番号 特願平10-178087

(22)出願日 平成10年(1998)6月10日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 林 清志

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

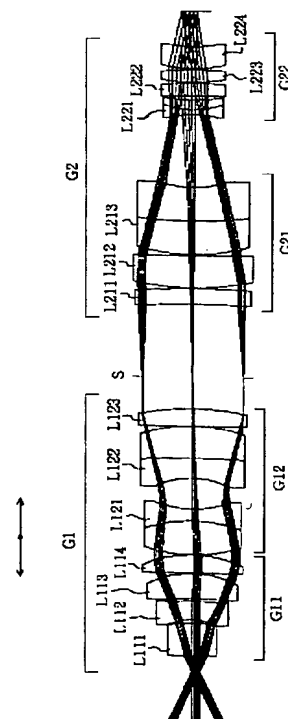
(74)代理人 弁理士 山口 孝雄

(54)【発明の名称】 両側テレセントリック光学系

(57)【要約】

【課題】 合焦のために光軸方向に移動可能なレンズ群を含み、高い解像力および大きな開口数を有し、精密な形状の観察および測定に適した両側テレセントリック光学系。

【解決手段】 第1レンズ群G1は正屈折力の第1部分レンズ群G11と第2部分レンズ群G12とから構成され、第2レンズ群G2は正屈折力の第3部分レンズ群G21と第4部分レンズ群G22とから構成されている。第1部分レンズ群G11は、像側の面のほうが強い曲率を有する正レンズL_pと物体側の面のほうが強い曲率を有する負レンズL_nとを含み、第2部分レンズ群G12は空気間隔を隔てて互いに向かい合った少なくとも一対の凹面を含み、第3部分レンズ群G21の最も像側の面は像側に凹面を向け、第4部分レンズ群G22の最も物体側の面は物体側に凹面を向けている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 物体側から順に、正の屈折力を有する第 1 レンズ群 G 1 と、開口絞りと、正の屈折力を有する第 2 レンズ群 G 2 とから構成され、前記第 1 レンズ群 G 1 と前記第 2 レンズ群 G 2 との間でほぼアフォーカルな光学系を構成し、前記第 1 レンズ群 G 1 が光軸方向に移動することによって焦点合わせを行う両側テレセントリック光学系において、

前記第 1 レンズ群 G 1 は、物体側から順に、正の屈折力を有する第 1 部分レンズ群 G 11 と、正の屈折力を有する第 2 部分レンズ群 G 12 とから構成され、

前記第 2 レンズ群 G 2 は、物体側から順に、正の屈折力を有する第 3 部分レンズ群 G 21 と、該第 3 部分レンズ群 G 21 から比較的大きな空気間隔を隔てて配置された正の屈折力を有する第 4 部分レンズ群 G 22 とから構成され、前記第 1 部分レンズ群 G 11 は、物体側の面よりも像側の面のほうが強い曲率を有する正レンズ L p と、該正レンズ L p と隣り合って配置され且つ像側の面よりも物体側の面のほうが強い曲率を有する負レンズ L n とを少なくとも含み、

前記第 2 部分レンズ群 G 12 は、空気間隔を隔てて互に向かい合った少なくとも一対の凹面を含み、

前記第 3 部分レンズ群 G 21 の最も像側の面は像側に凹面を向け、

前記第 4 部分レンズ群 G 22 の最も物体側の面は物体側に凹面を向け、

前記第 1 レンズ群 G 1 の焦点距離を f_1 とし、前記第 2 レンズ群 G 2 の焦点距離を f_2 とし、光学系全体の結像倍率を β としたとき、

$$-0.2 < |\beta| - (f_1 / f_2) < 0.2$$

の条件を満足することを特徴とする両側テレセントリック光学系。

【請求項 2】 最大物体高より射出される光束の主光線を光軸に平行に入射させた時に前記光学系の最も像側の面から射出される主光線の光軸直交方向の方向余弦 m は、

$$-0.1 < m < 0.1$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の両側テレセントリック光学系。

【請求項 3】 前記第 4 部分レンズ群 G 22 の最も像側には、像側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 4R が配置され、

前記第 3 部分レンズ群 G 21 の焦点距離を f_{21} とし、前記第 4 部分レンズ群 G 22 の焦点距離を f_{22} とし、前記正メニスカスレンズ L 4R の物体側の面の曲率半径を r_1 とし、前記正メニスカスレンズ L 4R の像側の面の曲率半径を r_2 としたとき、

$$0.8 < f_{21} / f_{22} < 2.5$$

$$-1.5 < (r_1 + r_2) / (r_1 - r_2) < -1$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 1 または 2 に

記載の両側テレセントリック光学系。

【請求項 4】 前記第 1 レンズ群 G 1 の焦点距離を f_1 とし、物体高を H としたとき、

$$7.0 < f_1 / 2H < 11.0$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の両側テレセントリック光学系。

【請求項 5】 前記第 1 部分レンズ群 G 11 中の前記正レンズ L p の像側の面の焦点距離を f_{1p} とし、前記第 1 部分レンズ群 G 11 中の前記負レンズ L n の物体側の面の焦点距離を f_{1n} としたとき、

$$0.8 < |f_{1n} / f_{1p}| < 2.5$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の両側テレセントリック光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は両側テレセントリック光学系に関し、特に微細な形状の観察および測定等に好適な、高解像で且つ物体側および像側の双方にテレセントリックな光学系に関わるものである。

【0002】

【従来の技術】近年、エレクトロニクスに関わる分野等では、IC の回路パターン等の微細化および高集積化がますます進み、微細な形状の測定に対する要望が高まっている。そして、このような微細な形状の測定に対する要望に応答するために、より高い解像力を有する光学系への要求が強くなっている。

【0003】従来、物体の形状測定に用いられる光学系では、物体位置の変化による倍率の変動を避けるために、物体側のみをテレセントリックに構成していた。しかしながら、近年の被測定物体の微細化に伴い、光学系の像側には非常に高い解像力を有する CCD 等の撮像素子が配置されるようになり、この撮像素子の位置決め誤差の影響も回避することができるよう物体側および像側の双方をテレセントリックに構成した、いわゆる両側テレセントリック光学系が要求されるようになっていく。

【0004】物体側および像側の双方にテレセントリックで且つ高い解像力を有する従来の光学系として、たとえば L S I 等の半導体装置を製造する際に使用される投影露光装置の投影光学系が知られている。いわゆるステッパーに代表される投影露光装置では、マスクの回路パターンを投影光学系を介して感光性基板であるウエハ上に投影する。この種の両側テレセントリック光学系は、例えば特開昭 64-19317 号公報、特開平 3-88317 号公報、特開平 4-42208 号公報、特開平 4-157412 号公報等に開示されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】物体側および像側の双方をテレセントリックに構成した光学系では、正の焦点距離を有する前方レンズ群（物体側に配置されるレンズ

群：以下、単に「前群」という）の後側焦点と、正の焦点距離を有する後方レンズ群（像側に配置されるレンズ群：以下、単に「後群」という）の前側焦点とが合致し、この2つの焦点が合致した位置の近傍に開口絞りが配置されている。

【0006】特開昭64-19317号公報には、前群と後群とを全く対称的に配置することによって構成された等倍光学系が開示されている。この等倍光学系では、NAが0.05~0.06と暗く、本発明が目的とする程度の解像力を得ることができないだけでなく、レンズ構成が単純なため残収差が多い。但し、完全対称型の光学系では、メリディオナルコマ収差、歪曲収差および倍率の色収差は本質的に発生しないので、収差補正は容易である。

【0007】また、特開昭64-19317号公報に開示された他の光学系では、前半部の光学系をM倍に比例拡大して、後半部の光学系として配置している。この構成により等倍以外の結像倍率を有する光学系が得られるが、レンズの対称性が崩れ且つ各レンズ群の構成も簡素であるため、本発明が目的とするような収差性能を得ることができない。

【0008】さらに、特開平3-88317号公報および特開平4-42208号公報には、光学系の一部を光軸方向に移動させることによって製造誤差等に起因する結像倍率の誤差を補正することのできる光学系が開示されている。しかしながら、この光学系の一部の移動は、焦点合わせ（合焦）のためのレンズ群の移動とは本質的に発想が異なり、アフォーカル部の空気間隔を変化させるわけではないので、光学系の移動に伴う収差の変動量が大きい。

【0009】また、特開平4-157412号公報等には、大きな開口数（NA）、高い解像力および大きな像高を有する光学系が開示されている。しかしながら、この光学系は、非常に高い結像性能が要求されるスペックであるため、前群と後群との間をアフォーカルに構成するのが難しく、合焦のために移動可能な部分レンズ群を構成することが極めて困難である。

【0010】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、合焦のために光軸方向に移動可能なレンズ群を含み、高い解像力および大きな開口数を有し、精密な形状の観察および測定に適した両側テレセントリック光学系を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明では、物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1と、開口絞りと、正の屈折力を有する第2レンズ群G2とから構成され、前記第1レンズ群G1と前記第2レンズ群G2との間でほぼアフォーカルな光学系を構成し、前記第1レンズ群G1が光軸方向に移動することによって焦点合わせを行う両側テレセントリ

ック光学系において、前記第1レンズ群G1は、物体側から順に、正の屈折力を有する第1部分レンズ群G11と、正の屈折力を有する第2部分レンズ群G12とから構成され、前記第2レンズ群G2は、物体側から順に、正の屈折力を有する第3部分レンズ群G21と、該第3部分レンズ群G21から比較的大きな空気間隔を隔てて配置された正の屈折力を有する第4部分レンズ群G22とから構成され、前記第1部分レンズ群G11は、物体側の面よりも像側の面のほうが強い曲率を有する正レンズLpと、該正レンズLpと隣り合って配置され且つ像側の面よりも物体側の面のほうが強い曲率を有する負レンズLnとを少なくとも含み、前記第2部分レンズ群G12は、空気間隔を隔てて互いに向かい合った少なくとも一対の凹面を含み、前記第3部分レンズ群G21の最も像側の面は像側に凹面を向け、前記第4部分レンズ群G22の最も物体側の面は物体側に凹面を向け、前記第1レンズ群G1の焦点距離をf1とし、前記第2レンズ群G2の焦点距離をf2とし、光学系全体の結像倍率をβとしたとき、 $-0.2 < |\beta| - (f1/f2) < 0.2$ の条件を満足することを特徴とする両側テレセントリック光学系を提供する。

【0012】本発明の好ましい態様によれば、最大物体高より射出される光束の主光線を光軸に平行に入射させた時に前記光学系の最も像側の面から射出される主光線の光軸直交方向の方向余弦mは、 $-0.1 < m < 0.1$ の条件を満足する。

【0013】また、前記第4部分レンズ群G22の最も像側には、像側に凹面を向けた正メニスカスレンズL4Rが配置され、前記第3部分レンズ群G21の焦点距離をf21とし、前記第4部分レンズ群G22の焦点距離をf22とし、前記正メニスカスレンズL4Rの物体側の面の曲率半径をr1とし、前記正メニスカスレンズL4Rの像側の面の曲率半径をr2としたとき、 $0.8 < f21/f22 < 2.5$
 $-1.5 < (r1+r2)/(r1-r2) < -1$ の条件を満足することが好ましい。

【0014】

【発明の実施の形態】前述のように、近年の被測定物体の微細化に伴い、物体の位置ずれやディテクターの位置決め誤差の影響を避けるため、精密形状測定用の両側テレセントリック光学系への要求が高まっている。この種の両側テレセントリック光学系では、高い解像力を必要とするため大きな開口数を有するので物体側の焦点深度が浅く、焦点合わせのための精密な合焦機能も必要となる。本発明では、このような基本的要求を満たしつつ、結像倍率が-2倍程度で、500本/mm程度の高い解像力および0.3~0.5程度の大きな開口数を有する両側テレセントリック光学系を実現している。

【0015】以下、本発明の光学系の基本的な構成につ

いて説明する。最も物体側に配置された第 1 部分レンズ群 G11 は、物体から射出される大きな開き角（たとえば $NA = 0.34 \sim 0.5$ ）を有する光束を、球面収差の発生を抑えつつ小さな入射角にして後続の第 2 部分レンズ群 G12 へ入射させる役割を有する。また、第 1 部分レンズ群 G11 は、物体からの軸外光束を完全テレセンで入射させたときに歪曲収差の補正を担いつつ第 2 部分レンズ群 G12 へ導くとともに、ある程度強いパワー（屈折力）を有する凸面（正レンズ Lp の像側の面）と凹面（負レンズ Ln の物体側の面）との組合せで収差のバランスをとっている。特に、この正のパワーを有する凸面と負のパワーを有する凹面との組合せは、歪曲収差の補正に大きく寄与している。

【0016】一方、第 2 部分レンズ群 G12 は、空気間隔を隔てて互に向かい合った少なくとも一对の凹面を含んでいるので、この一对の凹面の作用により、ベッツバール和を有効に補正し、像面の平坦化を図ることができる。また、この一对の凹面は、球面収差を有効に補正し、明るい光学系を構成するのに不可欠な役割も果たしている。第 2 レンズ群 G2 では、第 1 レンズ群 G1 からの平行光束を受け、第 3 部分レンズ群 G21 で主に球面収差を補正し、第 4 部分レンズ群 G22 で主に画角に依存す

$$-0.2 < |\beta| - (f1/f2) < 0.2 \quad (1)$$

ここで、 $f1$ は第 1 レンズ群 G1 の焦点距離であり、 $f2$ は第 2 レンズ群 G2 の焦点距離であり、 β は光学系全体の結像倍率である。

【0020】条件式（1）は、合焦に際して第 1 レンズ群 G1 が光軸上を例えば $\pm 0.5 \text{ mm}$ 程度移動した時でも良好な結像性能を保つための条件を規定している。条件式（1）の上限値および下限値で規定される範囲を逸脱すると、本発明の目的とするような高い解像力はもはや得られなくなってしまう。

【0021】また、本発明においては、以下の条件式（2）を満足することが望ましい。

$$-0.1 < m < 0.1 \quad (2)$$

ここで、 m は、最大物体高より射出される光束の主光線を光軸に平行に入射させた時に光学系の最も像側の面から射出される主光線の光軸直交方向の方向余弦である。換言すると、 m は光学系の最も像側の面から射出される主光線と光軸に垂直な軸線とのなす角度の余弦（コサイ

$$0.8 < f21/f22 < 2.5 \quad (3)$$

$$-1.5 < (r1 + r2) / (r1 - r2) < -1 \quad (4)$$

ここで、 $f21$ は第 3 部分レンズ群 G21 の焦点距離であり、 $f22$ は第 4 部分レンズ群 G22 の焦点距離である。また、 $r1$ は正メニスカスレンズ L4R の物体側の面の曲率半径であり、 $r2$ は正メニスカスレンズ L4R の像側の面の曲率半径である。

【0024】条件式（3）は、第 2 レンズ群 G2 における球面収差の補正に関する条件を規定している。第 4 部分レンズ群 G22 では、球面収差に係わる光束は細くな

る収差を補正することにより、良好な収差補正を実現している。

【0017】また、第 3 部分レンズ群 G21 の最も像側の面と第 4 部分レンズ群 G22 の最も物体側の面とが互に向かい合った一对の凹面を構成し、この一对の凹面がベッツバール和の補正に寄与している。これは、ベッツバール和の補正のために第 2 部分レンズ群 G12 に含まれる一对の凹面だけに強い負のパワーを付与しすぎると、この一对の凹面で大きなサジタルコマ収差が発生するので、サジタルコマ収差の発生を防止するために、第 2 部分レンズ群 G12 に含まれる一对の凹面と第 3 部分レンズ群 G21 と第 4 部分レンズ群 G22 との間の一对の凹面とでベッツバール和の補正負担を分担させるためである。

【0018】こうして、本発明の光学系では、第 1 レンズ群 G1 と第 2 レンズ群 G2 とでほぼ完全に独立して収差補正を行い、第 1 レンズ群 G1 と第 2 レンズ群 G2 とがほぼアフォーカルな光学系を構成することにより、第 1 レンズ群 G1 が合焦のために光軸上を移動しても、高い結像性能を維持することができる。

【0019】以下、本発明の条件式について説明する。本発明においては、以下の条件式（1）を満足する。

ン）である。したがって、光学系の最も像側の面から射出される主光線が光軸に平行な場合、 m の値は 0 である。

【0022】条件式（2）は、像側でのテレセントリシティ（テレセン性）に関する条件を規定している。条件式（2）の上限値および下限値で規定される範囲は、光学系の最も像側の面から射出される主光線の光軸となす角度が約 $\pm 5.74^\circ$ 以下であることを意味している。条件式（2）の上限値および下限値で規定される範囲を逸脱すると、CCD 等の撮像素子の位置決め誤差に対して光学系が敏感になり過ぎて、カラーシェーディングの回避の観点からも本発明の目的とするところから外れるので好ましくない。

【0023】また、本発明においては、第 4 部分レンズ群 G22 の最も像側には像側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L4R が配置され、以下の条件式（3）および（4）を満足することが望ましい。

り、光軸に近いところを通過する。このため、第 4 部分レンズ群 G22 を構成する各レンズは球面収差の補正能力が小さく、主に第 3 部分レンズ群 G21 で球面収差を補正する必要がある。条件式（3）の上限値を上回ると、第 3 部分レンズ群 G21 の焦点距離 $f21$ が長くなり、球面収差の補正は容易になるが、第 4 部分レンズ群 G22 が長くなり過ぎてレンズ系の大型化を招くので好ましくない。一方、条件式（3）の下限値を下回ると、第 3 部分レン

ズ群G21の焦点距離 f_{21} が相対的に短くなり、球面収差の補正が困難になるので好ましくない。

【0025】条件式(4)は、像側のテレセントリシティを確保しつつ歪曲収差を良好に補正するための条件として、第4部分レンズ群G22の最も像側に配置された正メニスカスレンズL4Rのシェイプファクター(形状因子)について適切な範囲を規定している。第4部分レンズ群G22の最も像側にこの正メニスカスレンズL4Rを配置することにより、第4部分レンズ群G22の最も像側の面を発散面として作用させることができる。その結果、第4部分レンズ群G22に入射した斜光束の主光線は光軸に対する角度を徐々に減じ、第4部分レンズ群G22を射出する時には光軸とほぼ平行になるが、この時に負の歪曲収差が発生する。この負の歪曲収差を効率良く補正するために第4部分レンズ群G22の像側に負のパワーを配置する必要があるが、第4部分レンズ群G22の最も像側に配置されるレンズを像側に凹面を向けた正メニスカス形状に構成することにより上述の負のパワーを達成することができる。条件式(4)の範囲を逸脱すると、像側のテレセントリシティと歪曲収差とのバランスがとれなくなり、良好な性能を確保することができなくなるので好ましくない。

【0026】また、本発明においては、以下の条件式(5)を満足することが望ましい。

$$7.0 < f_1 / 2H < 11.0 \quad (5)$$

ここで、 f_1 は第1レンズ群G1の焦点距離であり、 H は物体高である。

【0027】条件式(5)は、物体の大きさ(画角)と第1レンズ群G1の焦点距離との比について適切な範囲を規定している。大画角に耐えるためには第1レンズ群G1の焦点距離を短くする必要があるが、第1レンズ群G1の焦点距離を短くしていくと、球面収差の補正が困難となり、明るい光学系を実現することができなくなる。このように、条件式(5)の範囲は、本発明の目的とする光学系の明るさおよび画角に耐えることのできる第1レンズ群G1の焦点距離について適切な範囲を規定している。

【0028】条件式(5)の上限値を上回ると、物体の大きさに比して第1レンズ群G1の焦点距離 f_1 が長くなり過ぎて、画角に関する収差の補正が困難となるので好ましくない。一方、条件式(5)の下限値を下回ると、物体の大きさに比して第1レンズ群G1の焦点距離 f_1 が短くなり過ぎて、球面収差の補正が困難となり、本発明の目的とするような明るい光学系を達成することができなくなるので好ましくない。

【0029】また、本発明においては、以下の条件式(6)を満足することが望ましい。

$$0.8 < |f_{1n} / f_{1p}| < 2.5 \quad (6)$$

ここで、 f_{1p} は第1部分レンズ群G11中の正レンズ L_p の像側の面の焦点距離であり、 f_{1n} は第1部分レンズ群

G11中の負レンズ L_n の物体側の面の焦点距離である。

【0030】条件式(6)は、物体から射出される主光線を完全テレセンで光学系に入射させたとき、歪曲収差との微妙なバランスをとるための条件を規定している。条件式(6)の上限値を上回ると、負レンズ L_n の負のパワーが相対的に弱くなる。その結果、正の歪曲収差が発生し、テレセントリシティを完全に確保すると良好な収差補正が困難となるので好ましくない。一方、条件式(6)の下限値を下回ると、負レンズ L_n の負のパワーが相対的に強くなる。その結果、第1部分レンズ群G11で本質的に発生する正の歪曲収差は補正し易くなるが、球面収差や非点収差の補正とのバランスがとれなくなるので好ましくない。

【0031】

【実施例】以下、本発明の実施例を、添付図面に基づいて説明する。各実施例において、本発明の両側テレセントリック光学系は、正の屈折力を有する第1レンズ群G1と、開口絞りSと、正の屈折力を有する第2レンズ群G2とから構成されている。そして、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間でほぼアフォーカルな光学系を構成し、第1レンズ群G1が光軸方向に移動することによって焦点合わせを行う。

【0032】なお、第1レンズ群G1は、物体側から順に、正の屈折力を有する第1部分レンズ群G11と、正の屈折力を有する第2部分レンズ群G12とから構成されている。また、第2レンズ群G2は、物体側から順に、正の屈折力を有する第3部分レンズ群G21と、該第3部分レンズ群G21から比較的大きな空気間隔を隔てて配置された正の屈折力を有する第4部分レンズ群G22とから構成されている。

【0033】さらに、第1部分レンズ群G11は、物体側の面よりも像側の面のほうが強い曲率を有する正レンズ L_p と、該正レンズ L_p と隣り合って配置され且つ像側の面よりも物体側の面のほうが強い曲率を有する負レンズ L_n とを少なくとも含んでいる。第2部分レンズ群G12は、空気間隔を隔てて互いに向かい合った少なくとも一対の凹面を含んでいる。第3部分レンズ群G21の最も像側の面は像側に凹面を向け、第4部分レンズ群G22の最も物体側の面は物体側に凹面を向けている。

【0034】〔第1実施例〕図1は、本発明の第1実施例にかかる両側テレセントリック光学系の構成を示す図である。図1の光学系において、第1レンズ群G1中の第1部分レンズ群G11は、物体側から順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L_{111} 、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ L_{112} 、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L_{113} 、および物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L_{114} から構成されている。すなわち、第1部分レンズ群G11において、正メニスカスレンズ L_{111} は、物体側の面よりも像側の面のほうが強い曲率を有する正レンズ L_p を構成している。また、負

メニスカスレンズL112は、正レンズLpと隣り合って配置され且つ像側の面よりも物体側の面のほうが強い曲率を有する負レンズLnを構成している。

【0035】また、第1レンズ群G1中の第2部分レンズ群G12は、物体側から順に、両凸レンズと両凹レンズとの貼り合わせからなる接合レンズL121、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズと物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズとの貼り合わせからなる接合レンズL122、および物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL123から構成されている。すなわち、第2部分レンズ群G12において、接合レンズL121の像側の面と接合レンズL122の物体側の面とが、空気間隔を隔てて互いに向かい合った一対の凹面を構成している。

【0036】さらに、第2レンズ群G2中の第3部分レンズ群G21は、物体側から順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL211、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL212、および物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズと物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズとの貼り合わせからなる接合レンズL213から構成されている。また、第2レンズ群G2中の第4部分レ

ンズ群G22は、両凹レンズと物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズとの貼り合わせからなる接合レンズL221、両凸レンズL222、両凸レンズL223、および物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL224から構成されている。すなわち、第4部分レンズ群G22において、正メニスカスレンズL224は、最も像側に配置され且つ像側に凹面を向けた正メニスカスレンズL4Rを構成している。

【0037】次の表(1)に、本発明の第1実施例の諸元の値を掲げる。表(1)において、NAは開口数を、 β は結像倍率を、D0は物体距離(最も物体側のレンズ面と物体との軸上間隔)をそれぞれ表している。さらに、面番号は物体側からの各レンズ面の順序を、rは各レンズ面の曲率半径を、dは各レンズ面間隔を、n537は波長 $\lambda = 537\text{ nm}$ の光線に対する屈折率を、n532は波長 $\lambda = 532\text{ nm}$ の光線に対する屈折率を、n527は波長 $\lambda = 527\text{ nm}$ の光線に対する屈折率をそれぞれ示している。

【0038】

【表1】

NA =	0.4				
β =	-2.0				
D0 =	8.956				
面番号	r	d	n537	n532	n527
1	-88.88965	20.000000	1.803290	1.804255	1.805251
2	-39.87980	1.600000			
3	-25.25235	10.950000	1.803290	1.804255	1.805251
4	-1000.00000	1.400000			
5	-184.43566	15.400000	1.777443	1.777977	1.778527
6	-43.35068	0.200000			
7	-1622.63139	10.500000	1.801903	1.802505	1.803124
8	-56.39096	0.200000			
9	77.80540	20.000000	1.752361	1.752849	1.753351
10	-69.74452	7.200000	1.813925	1.815020	1.816153
11	55.73215	18.100000			
12	-39.52208	11.850000	1.729087	1.729745	1.730424
13	-285.12142	18.800000	1.801903	1.802505	1.803124
14	-79.32533	0.100000			
15	-1967.80594	10.000000	1.801903	1.802505	1.803124
16	-128.11774	18.850000			
17	∞	43.150000	(開口絞りS)		
18	-500.00000	10.000000	1.801903	1.802505	1.803124
19	-246.51803	0.100000			
20	154.60409	20.000000	1.801903	1.802505	1.803124
21	1196024.8273	0.550000			
22	92.02903	20.000000	1.846196	1.846864	1.847553
23	354.95549	20.000000	1.724578	1.725422	1.726293
24	51.53220	43.150000			
25	-50.88595	3.000000	1.763305	1.764254	1.765234
26	40.83411	6.550000	1.801903	1.802505	1.803124

27	79.97943	2.000000			
28	1000.00000	8.000000	1.802098	1.802767	1.803456
29	-178.89635	0.100000			
30	61.12990	8.000000	1.801903	1.802505	1.803124
31	-270.10434	0.800000			
32	43.49917	12.800000	1.777443	1.777977	1.778527
33	54.40207	21.229472			

(条件式対応値)

$$f1 = 64.223$$

$$f2 = 128.446$$

$$r1 = 43.499$$

$$r2 = 54.402$$

$$f21 = 143.569$$

$$f22 = 119.402$$

$$H = 3.6$$

$$f1p = 49.586$$

$$f1n = -56.651$$

$$(1) |\beta| - (f1/f2)$$

$$(2) m$$

$$(3) f21/f22$$

$$(4) (r1+r2)/(r1-r2)$$

$$(5) f1/2H$$

$$(6) |f1n/f1p|$$

$$= 0$$

$$= -0.01$$

$$= 1.202$$

$$= -8.979$$

$$= 8.920$$

$$= 1.142$$

【0039】図2は、第1実施例における球面収差図、非点収差図および歪曲収差図である。また、図3は、第1実施例におけるコマ収差図である。各収差図において、NAは開口数を、Yは像高を、破線は波長 $\lambda = 537\text{ nm}$ の光線を、実線は波長 $\lambda = 532\text{ nm}$ の光線を、一点鎖線は波長 $\lambda = 527\text{ nm}$ の光線をそれぞれ示している。また、非点収差図において、Sはサジタル像面を、Tはメリディオナル像面をそれぞれ示している。さらに、図3において、(a)は像高10割におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を、(b)は像高9割におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を、(c)は像高7割におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を、(d)は像高5割におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を、(e)は像高0割におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差をそれぞれ示している。図2および図3の各収差図から明らかなように、第1実施例では、諸収差が良好に補正されていることがわかる。

【0040】図4は、第1実施例において第1レンズ群G1が初期位置から移動することなく合焦した状態におけるMTF曲線図である。また、図5は、第1実施例において第1レンズ群G1が初期位置から物体側へ0.5 mmだけ移動して合焦した状態におけるMTF曲線図である。さらに、図6は、第1実施例において第1レンズ群G1が初期位置から像側へ0.5 mmだけ移動して合焦した状態におけるMTF曲線図である。各MTF曲線

図において、横軸は空間周波数(単位:本/mm)を、縦軸はMTF値(空間周波数が0でMTF値を1に規格化)をそれぞれ示している。また、各MTF曲線図において、線L1は回折限界を、線L2は光軸上(像高0割)を、線L3は像高3割における接線方向を、線L4は像高3割における径方向を、線L5は像高5割における接線方向を、線L6は像高5割における径方向を、線L7は像高7割における接線方向を、線L8は像高7割における径方向を、線L9は像高10割における接線方向を、線L10は像高10割における接線方向をそれぞれ示している。図4～図6の各MTF曲線図から明らかなように、第1実施例では、高い解像力が確保されていることがわかる。

【0041】〔第2実施例〕図7は、本発明の第2実施例にかかる両側テレセントリック光学系の構成を示す図である。図7の光学系において、第1レンズ群G1中の第1部分レンズ群G11は、物体側から順に、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズL111、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL112、および物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL113から構成されている。すなわち、第1部分レンズ群G11において、正メニスカスレンズL112は、物体側の面よりも像側の面のほうが強い曲率を有する正レンズLpを構成している。また、負メニスカスレンズL111は、正レンズLpと隣り合って配置され且つ像側の面よりも物体側の面のほうが強い曲率を有する負レンズLnを構成している。

【0042】また、第1レンズ群G1中の第2部分レン

ズ群G12は、物体側から順に、両凸レンズと両凹レンズとの貼り合わせからなる接合レンズL121、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズと物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズとの貼り合わせからなる接合レンズL122、および物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL123から構成されている。すなわち、第2部分レンズ群G12において、接合レンズL121の像側の面と接合レンズL122の物体側の面とが、空気間隔を隔てて互いに向かい合った一対の凹面を構成している。

【0043】さらに、第2レンズ群G2中の第3部分レンズ群G21は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL211、および物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズと物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズとの貼り合わせからなる接合レンズL212から構成されている。また、第2レンズ群G2中の第4部分レンズ群G22は、両凹レンズと両凸レンズとの貼り合わせからなる接合レンズL221、両凸レンズL222、お

よび物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL223から構成されている。すなわち、第4部分レンズ群G22において、正メニスカスレンズL223は、最も像側に配置され且つ像側に凹面を向けた正メニスカスレンズL4Rを構成している。

【0044】次の表(2)に、本発明の第2実施例の諸元の値を掲げる。表(2)において、NAは開口数を、 β は結像倍率を、D0は物体距離(最も物体側のレンズ面と物体との軸上間隔)をそれぞれ表している。さらに、面番号は物体側からの各レンズ面の順序を、rは各レンズ面の曲率半径を、dは各レンズ面間隔を、n546は波長 $\lambda = 546.07 \text{ nm}$ の光線に対する屈折率を、n435は波長 $\lambda = 435.84 \text{ nm}$ の光線に対する屈折率をそれぞれ示している。

【0045】

【表2】

NA =	0.342			
β =	-2.0			
D0 =	8.934			
面番号	r	d	n546	n435
1	-52.43554	15.000000	1.801617	1.831518
2	-1000.00000	0.650000		
3	-247.09099	13.800000	1.776511	1.792324
4	-53.36120	0.200000		
5	-3572.55963	6.000000	1.800855	1.818801
6	-39.07307	0.200000		
7	64.13822	7.650000	1.751509	1.765893
8	-34.37843	13.350000	1.761660	1.791150
9	39.19843	13.200000		
10	-20.68492	8.000000	1.723115	1.749224
11	-67.59413	21.600000	1.800855	1.818801
12	-44.26655	0.100000		
13	-556.99725	5.550000	1.800855	1.818801
14	-85.12761	10.000000		
15	∞	10.000000	(開口絞りS)	
16	109.87827	15.000000	1.800855	1.818801
17	21867.30836	0.550000		
18	60.64354	15.000000	1.845033	1.864916
19	279.84436	9.750000	1.723115	1.749224
20	36.68537	41.800000		
21	-40.55685	15.000000	1.761660	1.791150
22	55.20016	15.000000	1.800855	1.818801
23	-92.79364	0.360000		
24	757.97958	6.000000	1.800855	1.818801
25	-210.51646	0.372000		
26	39.82205	6.000000	1.776511	1.792324
27	65.71244	36.552053		

(条件式対応値)

$$\begin{aligned}
 f1 &= 60.037 \\
 f2 &= 120.074 \\
 r1 &= 39.822 \\
 r2 &= 65.712 \\
 f21 &= 143.026 \\
 f22 &= 90.671 \\
 H &= 3.6 \\
 f1p &= 68.719 \\
 f1n &= -117.848 \\
 (1) \quad |\beta| &= (f1/f2) \\
 (2) \quad m & \\
 (3) \quad f21/f22 & \\
 (4) \quad (r1+r2)/(r1-r2) & \\
 (5) \quad f1/2H & \\
 (6) \quad |f1n/f1p| &
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0 \\
 &= -0.01 \\
 &= 1.577 \\
 &= -4.076 \\
 &= 8.338 \\
 &= 1.715
 \end{aligned}$$

【0046】図8は、第2実施例における球面収差図、非点収差図および歪曲収差図である。また、図9は、第2実施例におけるコマ収差図である。各収差図において、NAは開口数を、Yは像高を、破線は波長 $\lambda = 435.8\text{nm}$ の光線を、実線は波長 $\lambda = 546.1\text{nm}$ の光線をそれぞれ示している。また、非点収差図において、Sはサジタル像面を、Tはメリディオナル像面をそれぞれ示している。さらに、図9において、(a)は像高10割におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を、(b)は像高9割におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を、(c)は像高7割におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を、(d)は像高5割におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を、(e)は像高0割におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差をそれぞれ示している。図8および図9の各収差図から明らかなように、第2実施例では、諸収差が良好に補正されていることがわかる。

【0047】図10は、第2実施例において第1レンズ群G1が初期位置から移動することなく合焦した状態におけるMTF曲線図である。また、図11は、第2実施例において第1レンズ群G1が初期位置から物体側へ0.5mmだけ移動して合焦した状態におけるMTF曲線図である。さらに、図12は、第2実施例において第1レンズ群G1が初期位置から像側へ0.5mmだけ移動して合焦した状態におけるMTF曲線図である。各MTF曲線図において、横軸は空間周波数(単位:本/mm)を、縦軸はMTF値(空間周波数が0でMTF値を1に規格化)をそれぞれ示している。また、各MTF曲線図において、線L1は回折限界を、線L2は光軸上(像高0割)を、線L3は像高3割における接線方向を、線L4は像高3割における径方向を、線L5は像高5割における接線方向を、線L6は像高5割における径方向を、線L7は像高7割における接線方向を、線L8は像高7割における径方向を、線L9は像高10割にお

ける接線方向を、線L10は像高10割における接線方向をそれぞれ示している。図10～図12の各MTF曲線図から明らかなように、第2実施例では、高い解像力が確保されていることがわかる。

【0048】〔第3実施例〕図13は、本発明の第3実施例にかかる両側テレセントリック光学系の構成を示す図である。図13の光学系において、第1レンズ群G1中の第1部分レンズ群G11は、物体側から順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL111、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズL112、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL113、および物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL114から構成されている。すなわち、第1部分レンズ群G11において、正メニスカスレンズL111は、物体側の面よりも像側の面のほうが強い曲率を有する正レンズLpを構成している。また、負メニスカスレンズL112は、正レンズLpと隣り合って配置され且つ像側の面よりも物体側の面のほうが強い曲率を有する負レンズLnを構成している。

【0049】また、第1レンズ群G1中の第2部分レンズ群G12は、物体側から順に、両凸レンズと両凹レンズとの貼り合わせからなる接合レンズL121、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズと物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズとの貼り合わせからなる接合レンズL122、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL123、および物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL124から構成されている。すなわち、第2部分レンズ群G12において、接合レンズL121の像側の面と接合レンズL122の物体側の面とが、空気間隔を隔てて互に向かい合った一対の凹面を構成している。

【0050】さらに、第2レンズ群G2中の第3部分レンズ群G21は、物体側から順に、両凸レンズL211、および物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズと物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズとの貼り合わせからなる接合レンズL212から構成されている。また、第2レンズ群G2中の第4部分レンズ群G22は、両凹レンズ

と物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズとの貼り合わせからなる接合レンズL221、両凸レンズL222、両凸レンズL223、および物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL224から構成されている。すなわち、第4部分レンズ群G22において、正メニスカスレンズL224は、最も像側に配置され且つ像側に凹面を向けた正メニスカスレンズL4Rを構成している。

【0051】次の表(3)に、本発明の第3実施例の諸元の値を掲げる。表(3)において、NAは開口数を、

$$NA = 0.5$$

$$\beta = -2.0$$

$$DO = 8.934$$

面番号	r	d	n546	n435
1	-69.61981	8.000000	1.801617	1.831518
2	-23.53862	1.600000		
3	-18.04891	9.250000	1.801617	1.831518
4	-1000.00000	1.400000		
5	-142.22029	17.300000	1.776511	1.792324
6	-38.29197	0.200000		
7	-550.78056	10.500000	1.800855	1.818801
8	-48.30452	0.200000		
9	77.81645	17.900000	1.751509	1.765893
10	-50.24281	9.300000	1.812025	1.846310
11	52.68762	18.100000		
12	-33.19577	12.050000	1.727943	1.748045
13	-100.00000	17.400000	1.800855	1.818801
14	-98.55950	0.100000		
15	-140.00000	10.300000	1.800855	1.818801
16	-71.89987	0.100000		
17	-408.03625	10.000000	1.800855	1.818801
18	-132.25894	10.000000		
19	∞	10.000000	(開口絞りS)	
20	122.96670	10.350000	1.800855	1.818801
21	-2322.85294	0.550000		
22	69.41196	15.200000	1.845033	1.864916
23	291.24815	15.400000	1.723115	1.749224
24	41.05862	47.000000		
25	-44.19477	19.400000	1.761660	1.791150
26	41.08554	16.100000	1.800855	1.818801
27	117.98193	2.000000		
28	126.39788	6.700000	1.800934	1.821068
29	-256.27255	0.100000		
30	98.30387	6.000000	1.800855	1.818801
31	-500.00000	0.800000		
32	47.71372	7.500000	1.776511	1.792324
33	90.32718	30.267757		

(条件式対応値)

$$f1 = 66.095$$

$$f2 = 132.191$$

$$r1 = 47.714$$

β は結像倍率を、DOは物体距離(最も物体側のレンズ面と物体との軸上間隔)をそれぞれ表している。さらに、面番号は物体側からの各レンズ面の順序を、rは各レンズ面の曲率半径を、dは各レンズ面間隔を、n546は波長 $\lambda = 546.07\text{ nm}$ の光線に対する屈折率を、n435は波長 $\lambda = 435.84\text{ nm}$ の光線に対する屈折率をそれぞれ示している。

【0052】

【表3】

$$\begin{aligned}
 r_2 &= 90.327 \\
 f_{21} &= 146.161 \\
 f_{22} &= 70.137 \\
 H &= 3.6 \\
 f_{1p} &= 29.364 \\
 f_{1n} &= -40.565 \\
 (1) \quad &|\beta| - (f_1/f_2) \\
 (2) \quad &m \\
 (3) \quad &f_{21}/f_{22} \\
 (4) \quad &(r_1 + r_2) / (r_1 - r_2) \\
 (5) \quad &f_1 / 2H \\
 (6) \quad &|f_{1n}/f_{1p}|
 \end{aligned}$$

【0053】図14は、第3実施例における球面収差図、非点収差図および歪曲収差図である。また、図15は、第3実施例におけるコマ収差図である。各収差図において、NAは開口数を、Yは像高を、破線は波長 $\lambda = 435.8\text{nm}$ の光線を、実線は波長 $\lambda = 546.1\text{nm}$ の光線をそれぞれ示している。また、非点収差図において、Sはサジタル像面を、Tはメリディオナル像面をそれぞれ示している。さらに、図15において、(a)は像高10割におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を、(b)は像高9割におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を、(c)は像高7割におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を、(d)は像高5割におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差を、(e)は像高0割におけるメリディオナルコマ収差およびサジタルコマ収差をそれぞれ示している。図14および図15の各収差図から明らかなように、第3実施例では、諸収差が良好に補正されていることがわかる。

【0054】図16は、第3実施例において第1レンズ群G1が初期位置から移動することなく合焦した状態におけるMTF曲線図である。また、図17は、第3実施例において第1レンズ群G1が初期位置から物体側へ0.5mmだけ移動して合焦した状態におけるMTF曲線図である。さらに、図18は、第3実施例において第1レンズ群G1が初期位置から像側へ0.5mmだけ移動して合焦した状態におけるMTF曲線図である。各MTF曲線図において、横軸は空間周波数(単位:本/mm)を、縦軸はMTF値(空間周波数が0でMTF値を1に規格化)をそれぞれ示している。また、各MTF曲線図において、線L1は回折限界を、線L2は光軸上(像高0割)を、線L3は像高3割における接線方向を、線L4は像高3割における径方向を、線L5は像高5割における接線方向を、線L6は像高5割における径方向を、線L7は像高7割における接線方向を、線L8は像高7割における径方向を、線L9は像高10割における接線方向を、線L10は像高10割における接線方向をそれぞれ示している。図16～図18の各MTF曲線図から明らかなように、第3実施例では、高い解像力が

$$\begin{aligned}
 &= 0 \\
 &= -0.047 \\
 &= 2.084 \\
 &= -3.239 \\
 &= 9.180 \\
 &= 1.381
 \end{aligned}$$

確保されていることがわかる。

【0055】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、合焦のために光軸方向に移動可能なレンズ群(第1レンズ群G1)を含み、結像倍率が-2倍で、イメージサークル14mm程度で、500本/mm程度の高い解像力および0.34～0.50程度の大きな開口数を有し、物体側および像側の双方にテレセントリックな、いわゆる両側テレセントリック光学系を実現することができる。したがって、本発明の両側テレセントリック光学系は、微細な形状の観察および測定などに好適である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例にかかる両側テレセントリック光学系の構成を示す図である。

【図2】第1実施例における球面収差図、非点収差図および歪曲収差図である。

【図3】第1実施例におけるコマ収差図である。

【図4】第1実施例において第1レンズ群G1が初期位置から移動することなく合焦した状態におけるMTF曲線図である。

【図5】第1実施例において第1レンズ群G1が初期位置から物体側へ0.5mmだけ移動して合焦した状態におけるMTF曲線図である。

【図6】第1実施例において第1レンズ群G1が初期位置から像側へ0.5mmだけ移動して合焦した状態におけるMTF曲線図である。

【図7】本発明の第2実施例にかかる両側テレセントリック光学系の構成を示す図である。

【図8】第2実施例における球面収差図、非点収差図および歪曲収差図である。

【図9】第2実施例におけるコマ収差図である。

【図10】第2実施例において第1レンズ群G1が初期位置から移動することなく合焦した状態におけるMTF曲線図である。

【図11】第2実施例において第1レンズ群G1が初期位置から物体側へ0.5mmだけ移動して合焦した状態におけるMTF曲線図である。

【図12】第2実施例において第1レンズ群G1が初期

位置から像側へ0.5mmだけ移動して合焦した状態におけるMTF曲線図である。

【図13】本発明の第3実施例にかかる両側テレセントリック光学系の構成を示す図である。

【図14】第3実施例における球面収差図、非点収差図および歪曲収差図である。

【図15】第3実施例におけるコマ収差図である。

【図16】第3実施例において第1レンズ群G1が初期位置から移動することなく合焦した状態におけるMTF曲線図である。

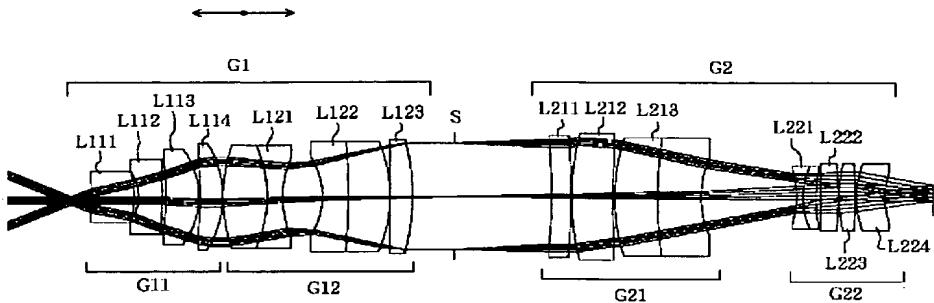
【図17】第3実施例において第1レンズ群G1が初期位置から物体側へ0.5mmだけ移動して合焦した状態におけるMTF曲線図である。

【図18】第3実施例において第1レンズ群G1が初期位置から像側へ0.5mmだけ移動して合焦した状態におけるMTF曲線図である。

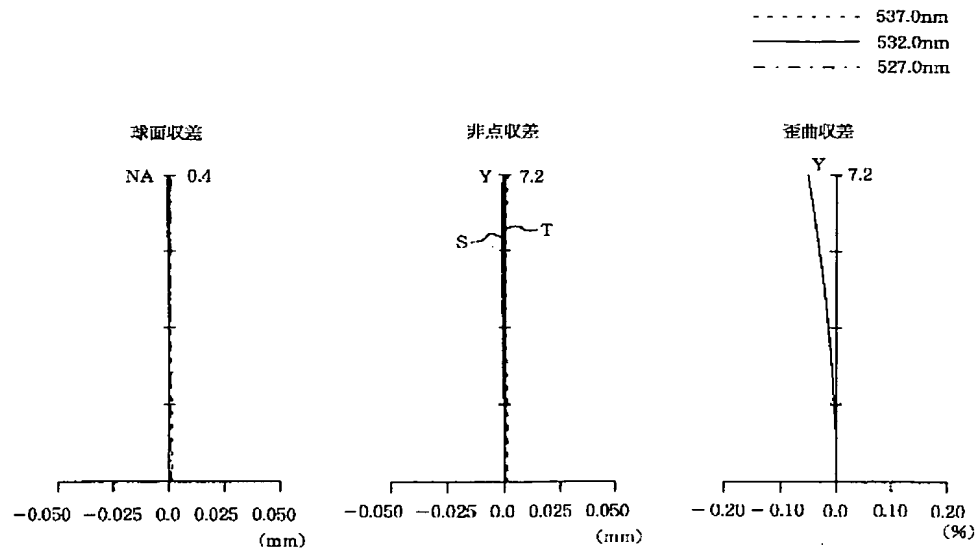
【符号の説明】

- G1 第1レンズ群
- G2 第2レンズ群
- G11 第1部分レンズ群
- G12 第2部分レンズ群
- G21 第3部分レンズ群
- G22 第4部分レンズ群
- S 開口絞り
- Li 各レンズ成分

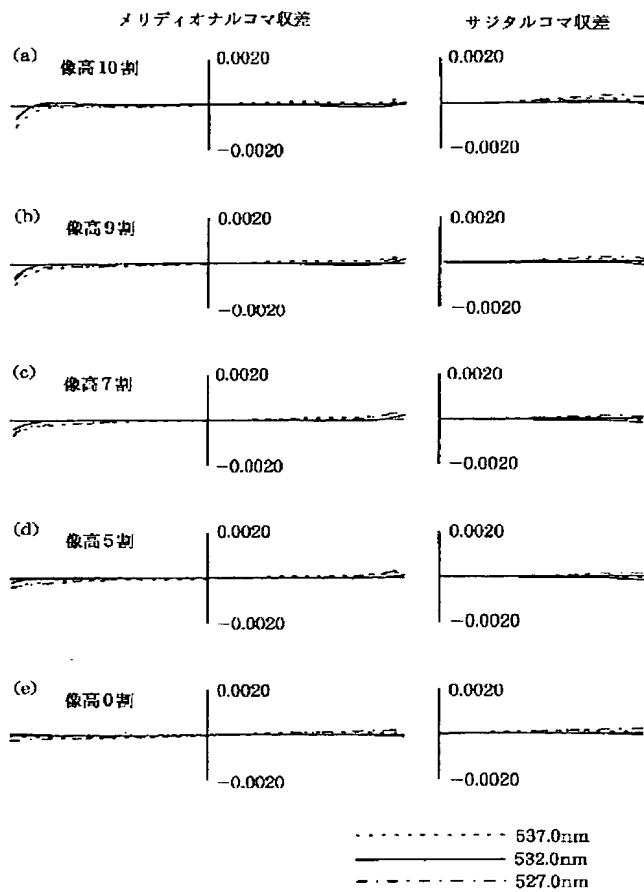
【図1】



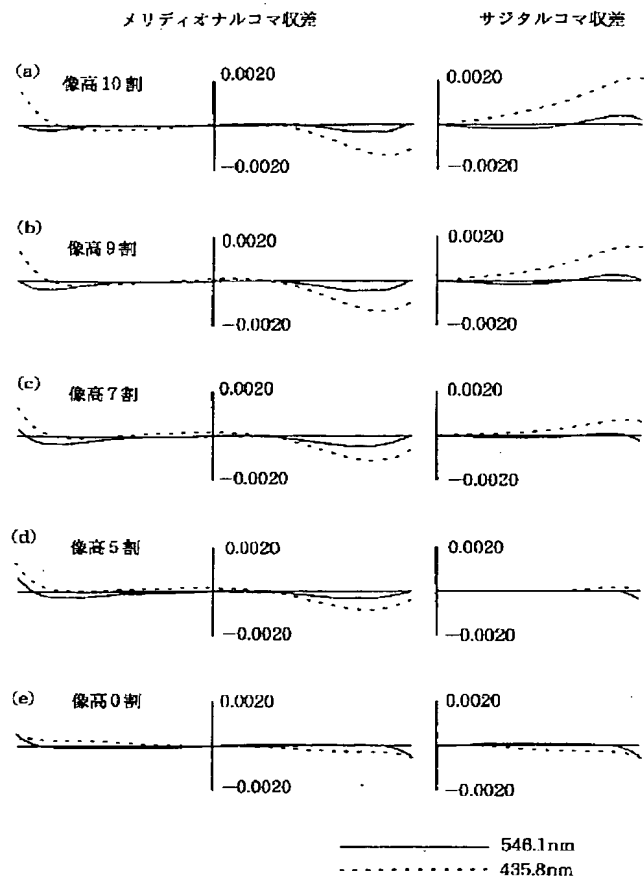
【図2】



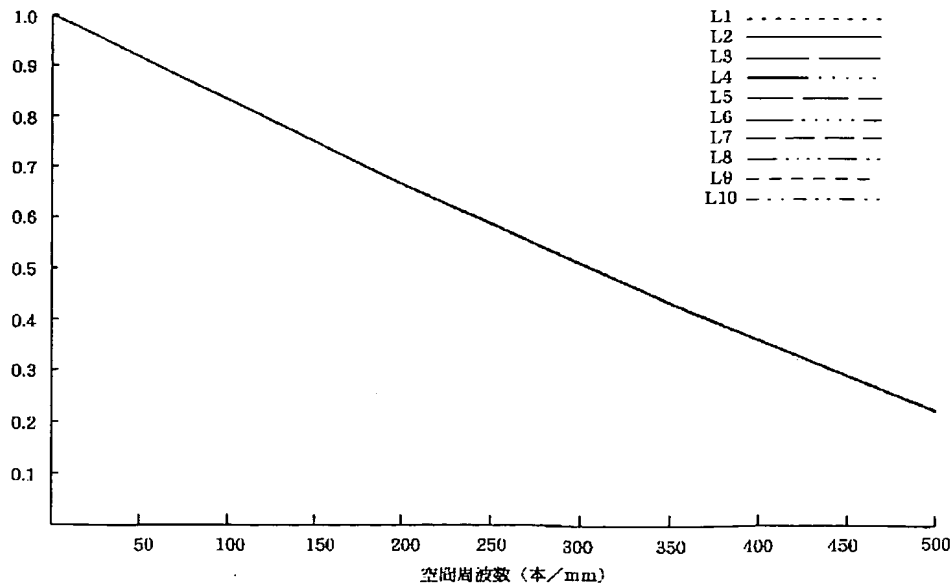
【図 3】



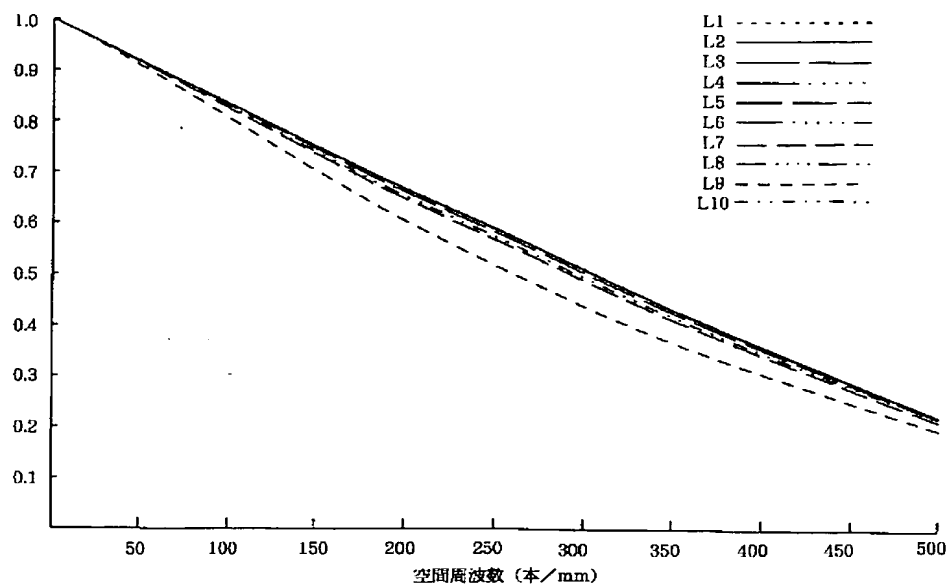
【図 9】



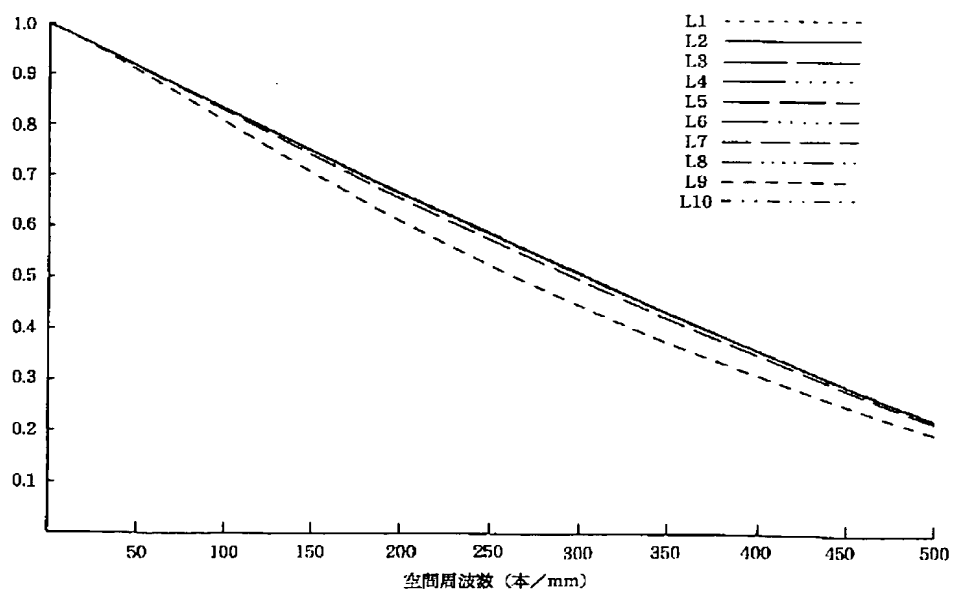
【図 4】



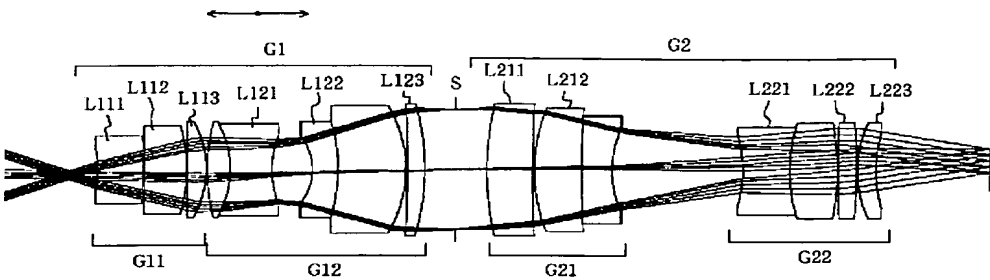
【図 5】



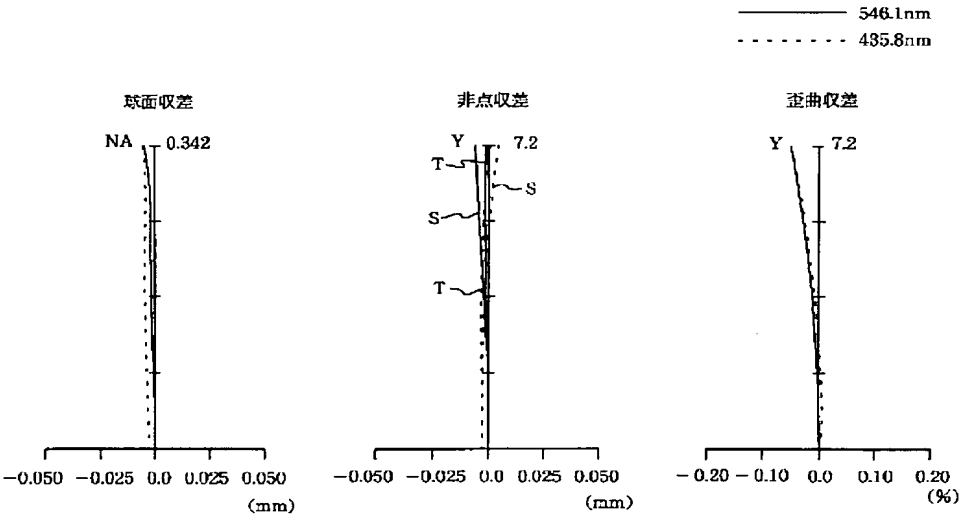
【図 6】



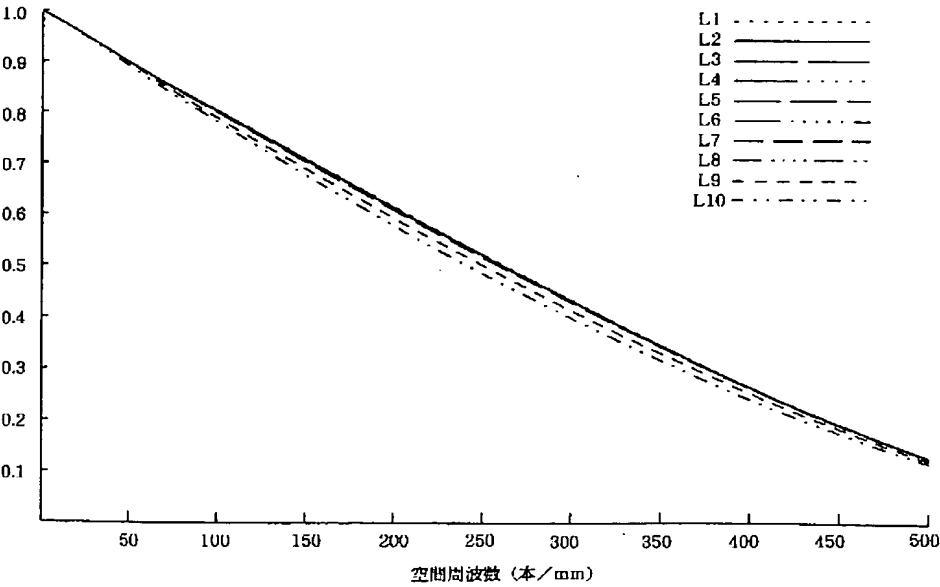
【図 7】



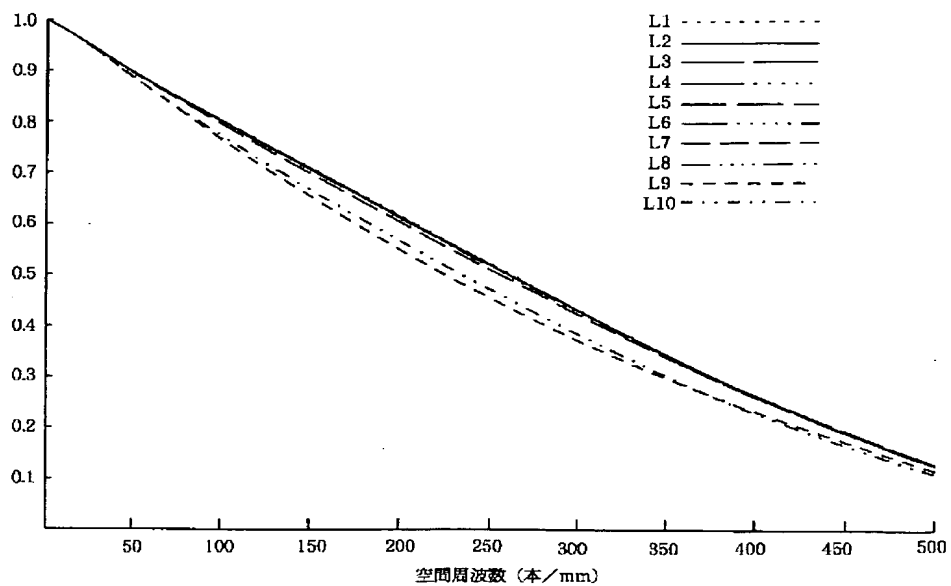
【図 8】



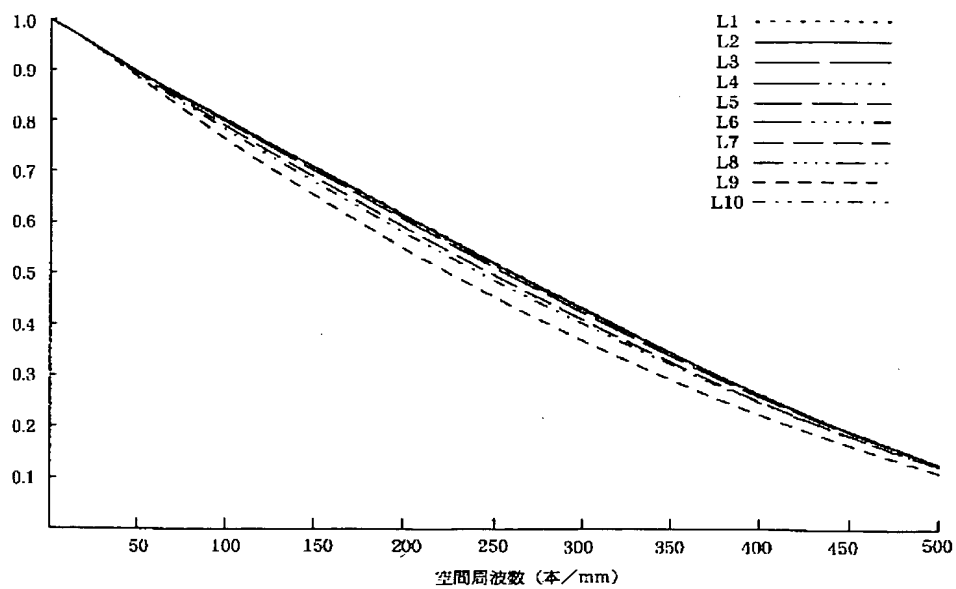
【図 10】



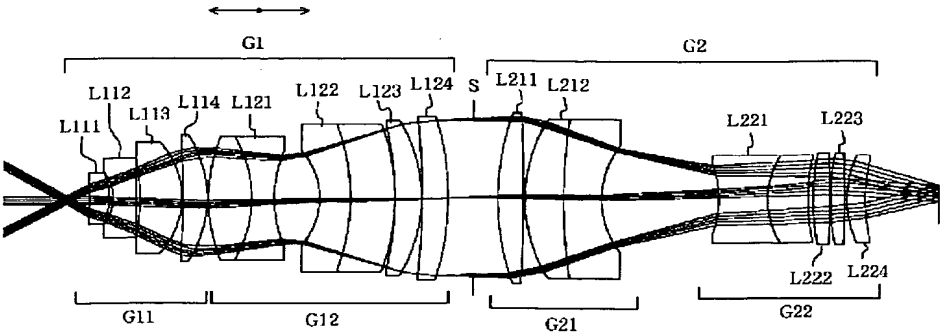
【図 11】



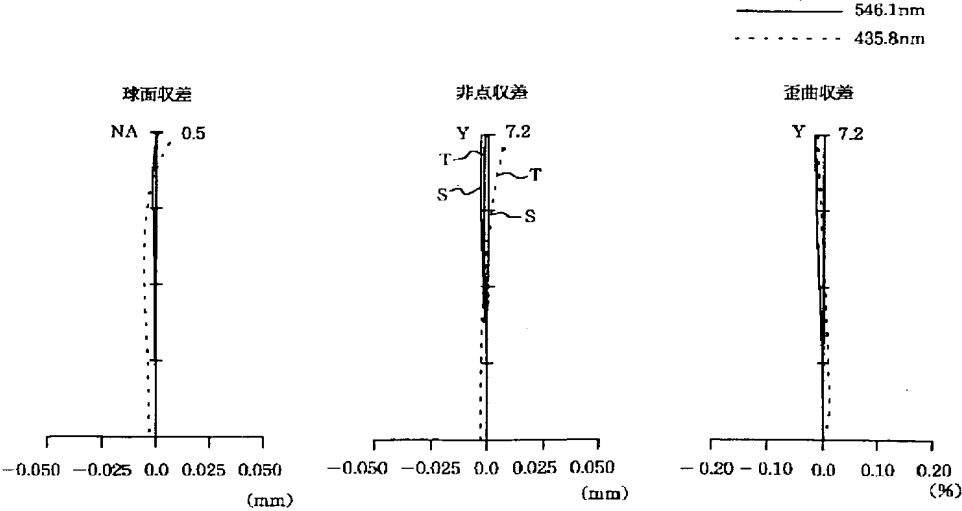
【図 12】



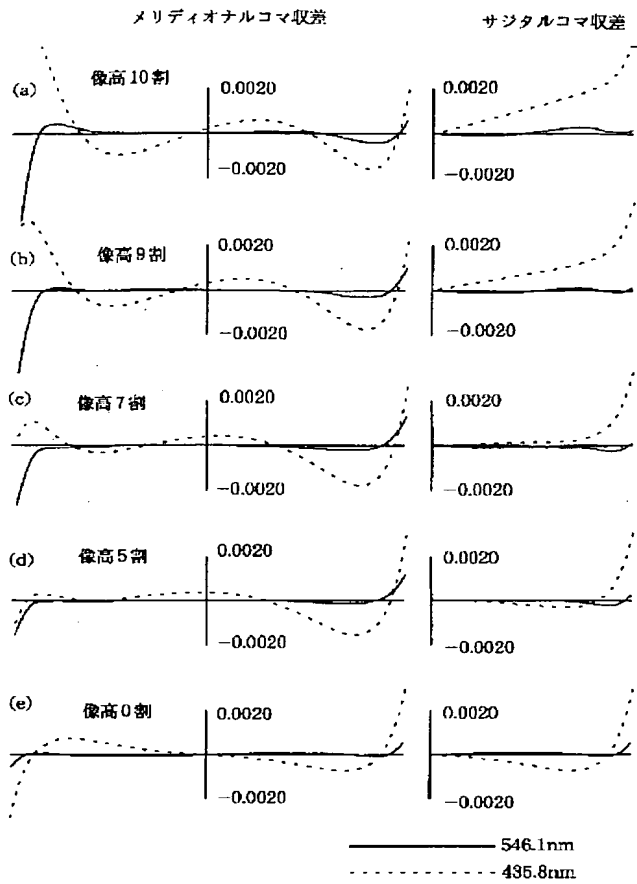
【図 1 3】



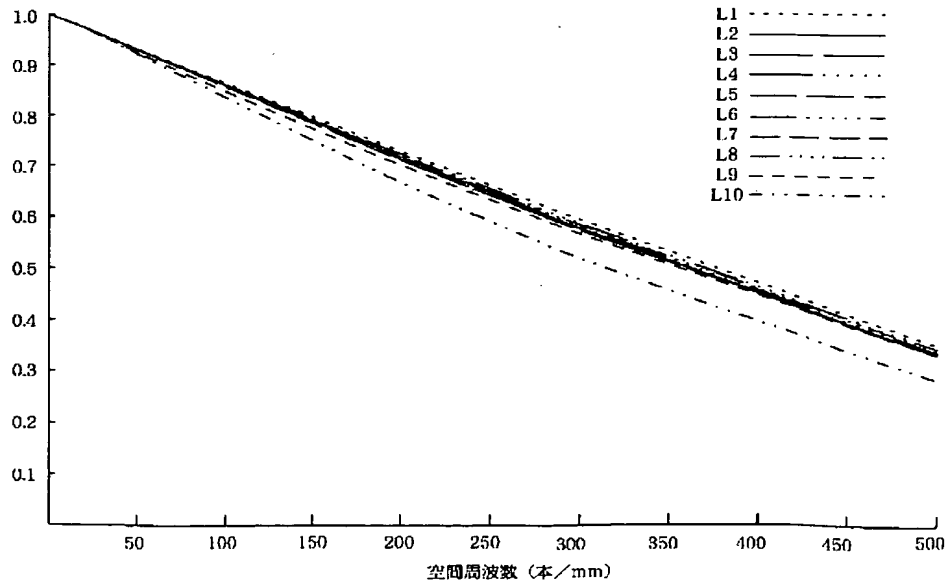
【図 1 4】



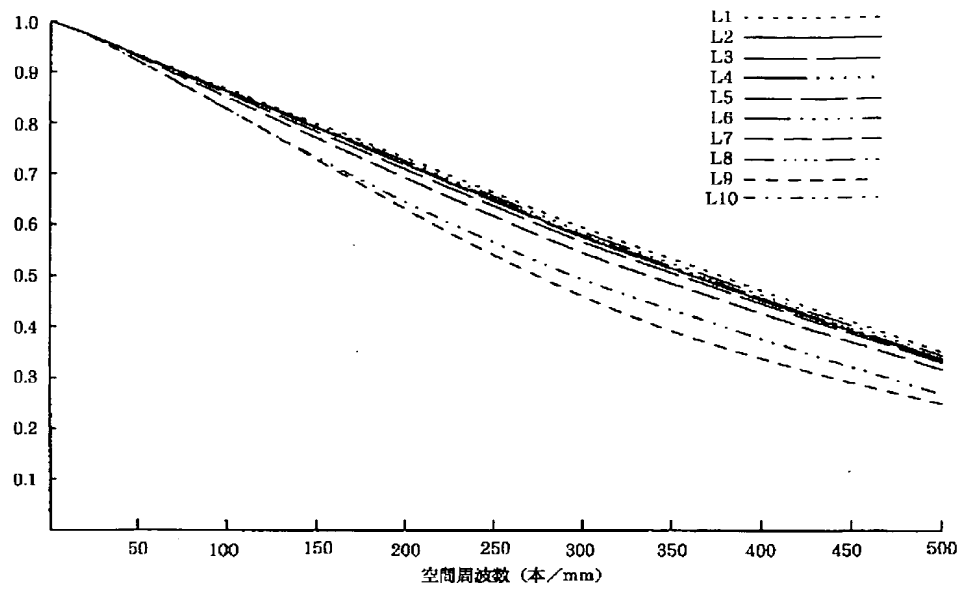
【図 1 5】



【図 1 6】



【図 17】



【図 18】

